

## طراحی و شبیه سازی بهسازی یکپارچه کیفیت توان (UPQC) بر اساس اینورتر منبع جریان

مجید بناءشاهوردی

دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز  
[m\\_b\\_shahverdi@yahoo.com](mailto:m_b_shahverdi@yahoo.com)

غلامرضا حسن زاده

دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز  
[reza\\_hasanzade1362@yahoo.com](mailto:reza_hasanzade1362@yahoo.com)

**چکیده:** عناصر غیر خطی، مانند مبدل های توان در سیستم های AC، جریانهای هارمونیک به شبکه تزریق میکنند و باعث افزایش توان راکتیو در خواستی بار می گردند. و همچنین در سالهای اخیر تعداد بارهای حساس که برای عملکرد صحیح خود نیاز به ولتاژهای تغذیه سینوسی ایده آل دارند، افزایش یافته است. برای اینکه بتوانیم کیفیت توان را به صورت استاندارد داشته باشیم نیاز به مدارات و سیستم های جبران کننده است. امروزه انواع مختلفی از این جبران سازها نسبت به کارکردشان پیشنهاد شده است. هدف از این مقاله معرفی UPQC است که شامل دو مبدل سه فاز منبع جریان می باشد که از طریق یک لینک DC به هم متصل شده اند. در مبدلهای منبع جریان حلقه کنترل ولتاژ فاز نسبت به مبدلهای منبع ولتاژ دارای پاسخ سریع تری می باشند. همچنین قابلیت حفاظتی در مقابل اتصال کوتاه داخلی را نیز دارند و نیازی به استفاده از فیلترهای پسیو، مابین UPQC و بار نیست بنابراین هزینه سیستم بطور قابل توجهی کاهش می یابد.

**کلمات کلیدی:** فیلترهای اکتیو، کنترل مبدل ها، کیفیت توان، هارمونیک ها

### 1- مقدمه

عناصر غیر خطی، مانند مبدل های توان در سیستم های AC، جریان های هارمونیک به شبکه تزریق می کنند و باعث افزایش توان راکتیو بار می گردند. همچنین تعداد بارهای حساس که برای عملکرد صحیح خود نیاز به ولتاژهای تغذیه سینوسی ایده آل دارند، افزایش یافته است. برای نگهداشتن کیفیت توان در محدوده استاندارد باید از یک سری جبران کننده ها استفاده کرد.

UPQC یکی از جبران کننده هایی است که می تواند مسایل مختلف کیفیت توان از قبیل: افت ولتاژ، افزایش ولتاژ، ناهمبندی ولتاژ، فلیکرها، هارمونیکها و جریانهای راکتیو را جبران سازی کند.

UPQC معمولاً شامل دو مبدل منبع ولتاژ است که با یک خازن لینک DC به یکدیگر متصل شده اند. یکی از مبدل ها یکسو کننده اکتیو (AR) و دیگری یک فیلتر سری است که با یک فیلتر خروجی LC و ترانسفورمر از شبکه AC ایزوله شده است و همچنین در محل اتصال بار، بانک فیلترهای پسیو نیز وجود دارد.

UPQC از نوع منبع ولتاژ دارای معایبی است. بخصوص در قسمت SF (فیلترهای سری). از قبیل عکس العمل پایین در کنترل ولتاژ خروجی و جریان حفاظتی مبدل ها (فیلتر LC) می باشد. همچنین هنگامیکه یک یکسو ساز اکتیو

در داخل UPQC به عنوان اصلاح کننده ی توان به کار برده میشود، نوسانات ولتاژ مسیر DC ظاهر، شده باعث می شود که کنترل ولتاژ خروجی فیلتر سری بسیار مشکل شود.

این قبیل مشکلات با استفاده از مبدل های نوع منبع جریان حل میشوند. هدف این مقاله ارائه یک ساختار UPQC با استفاده از مبدلهای منبع جریان است همچنانکه از شکل (1) دیده میشود UPQC شامل دو مبدل سه فاز جریانی است که توسط لینک DC به هم متصل شده اند. در این سیستم، AR دو کار انجام می دهد که یکی کنترل جریان لینک DC و دیگری فیلتر کردن جریان بار می باشد، در حالیکه فیلتر سری SF تغییرات ولتاژ تغذیه را اصلاح می کند. در این ساختار (منبع جریان) کنترل ولتاژ فاز سریعتر از نوع منبع ولتاژ انجام می گیرد و نیز توانایی حفاظتی در مقابل اتصال کوتاه درون سیستمی را دارد و همچنین در این حالت نیازی به اتصال فیلتر پسو مابین UPQC و بار نیست که این عمل باعث کاهش هزینه ی سیستم می شود.

## 2 - ساختار مبدل

UPQC شامل اجزای زیر است :

فیلتر سری (SF) که وظیفه اش اصلاح هارمونیکهای ولتاژ تغذیه، نوسانات، افت و افزایش ولتاژ و نامتعادلی ولتاژ است. معادله ی کنترل به صورت زیر است:

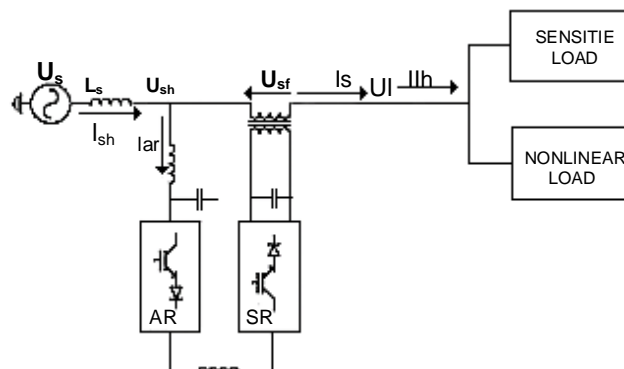
$$U_{sf} = U_{comp} \quad (1)$$

که  $U_{comp}$ ، ولتاژ جبرانی مورد نیاز بار، برای حذف تغییرات ولتاژ تغذیه است که شامل دو بخش است که یکی برگرفته از تئوری dq برای آشکارسازی هارمونیکها و دیگر برگرفته از تبدیل Fortescue برای اصلاح نامتعادلی است.

یکسوکنده فعال (AR) برای کنترل انتقال توان حقیقی (به یا از) باس DC مشترک و همچنین برای کنترل جریان باس DC مشترک به منظور داشتن ضریب توان واحد به کار می رود در ضمن فیلترینگ هارمونیکهای جریان و اصلاح توان راکتیو برعهده AR است. جریان باس DC، توسط مبدل Buck سه فاز ثابت نگه داشته می شود، عمل کنترل در این شرایط نسبت به تغییرات ولتاژ تغذیه، غیر حساس می باشد. معادله ی کنترل یکسوکنده به صورت زیر است:

$$I_{ar} = I_{ar1} + I_{pf} \quad (2)$$

که  $I_{ar1}$  هارمونیک اول جریان در ورودی یکسوساز است که توسط حلقه کنترل جریان DC ایجاد شده و  $I_{pf}$  مولفه ی جریان برای فیلتر کردن هارمونیکها و اصلاح ضریب توان می باشد.



شکل 1: مبدلهای جریانی سه فاز در توپولوژی upqc

### 3 - محاسبه سیگنال مرجع

روشهای کنترلی ارائه شده برای فیلترهای اکتیو موازی و سری، معمولاً از تئوری توان راکتیو لحظه ای، [1] برای محاسبه سیگنالهای مرجع استفاده می کنند. هر چند این تئوری یک ابزار قدرتمندی را ارائه می کند ولی اجرای آن در عمل مشکل است، زیرا به تعداد زیادی جمع کننده های آنالوگ، تقسیم کننده ها، فیلترها و غیره نیاز دارد. پیشرفت در تکنولوژی DSP، سرعت محاسبات را همراه با تبدیل سریع A/D و سخت افزارهای اختصاصی مختلف از قبیل: (space vector modulators, fast digital PWMsignal generators) موجب کاهش سخت افزارهای مورد نیاز مدار میشود [2].

مولفه های DQ هریک از ولتاژ و جریانهای نشان داده شده در شکل (1) از معادلات زیر بدست می آیند:

$$\begin{bmatrix} i_o \\ i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} T \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad \text{و} \quad \begin{bmatrix} u_o \\ u_d \\ u_q \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} T \cdot \begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} \quad (3)$$

ماتریس تبدیل T و معکوس آن عبارتند از:

$$T = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ \cos J & \cos(J - 2p/3) & \cos(J - 4p/3) \\ -\sin J & -\sin(J - 2p/3) & -\sin(J - 4p/3) \end{bmatrix} = T^{1\text{transp}} \quad \text{و} \quad J = J_0 + \int_0^t \omega dt \quad (4)$$

$\theta$  زاویه اولیه ولتاژ تغذیه است که از مدارات سنکرونی بدست می آید. جریانهها در حوزه قاب چرخان  $(I_{lh}, I_{sh})$  می توانند به دو مولفه DC (50 Hz) و AC (هارمونیک و زیرهارمونیک و هارمونیکهای میانی) تجزیه شوند. مولفه های جریان بصورت معادله (5) هستند.

$$i_d = \bar{i}_d + \tilde{i}_d \quad \text{و} \quad i_q = \bar{i}_q + \tilde{i}_q \quad (5)$$

$\bar{i}_d$  مولفه راکتیو و  $\bar{i}_q$  مولفه توان اکتیو است. مولفه های AC و DC می توانند بصورت زیر محاسبه شوند:

$$\tilde{i}_d(z) = HPF(z) i_d(z) \quad \text{و} \quad \tilde{i}_q(z) = HPF(z) i_q(z) \quad (6)$$

$$\bar{i}_d(z) = i_d(z) - \tilde{i}_d(z) \quad \text{و} \quad \bar{i}_q(z) = i_q(z) - \tilde{i}_q(z) \quad (7)$$

$$HPF(z) = HPF(s) \left|_{s=\frac{2(1-Z^{-1})}{T(1+Z^{-1})}} = \frac{s}{s+w_c} \right|_{s=\frac{2(1-Z^{-1})}{T(1+Z^{-1})}} = \frac{2(1-z^{-1})}{(2+w_c T) - (2-w_c T)z^{-1}} \quad (8)$$

T زمان نمونه برداری است. مقدار زمان نمونه برداری برای فیلتر کردن مناسب حداقل  $T < T_h/4$  که  $T_h$  عبارت است از مدت زمان بزرگترین هارمونیک، که باید حذف گردد ( $T_h = 1/f$ ). برای مثال اگر بزرگترین هارمونیک 21 باشد در آن صورت T تقریباً 1ms خواهد بود. بر این اساس جریانههای مرجع برای عمل فیلتر موازی AR، فقط برای حذف هارمونیکها از قسمت چپ فرمول (9) محاسبه میشوند و اگر بخواهیم همراه با حذف هارمونیک ضریب توان را نیز اصلاح کنیم در آن صورت جریانههای مرجع از قسمت راست فرمول (9) محاسبه میشوند:

$$\begin{bmatrix} i_{pfa}^* \\ i_{pfb}^* \\ i_{pfc}^* \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos J & -\sin J \\ \cos(J - 2p/3) & -\sin(J - 2p/3) \\ \cos(J - 4p/3) & -\sin(J - 4p/3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{i}_{lhd} \\ \tilde{i}_{lhq} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{pfa}^* \\ i_{pfb}^* \\ i_{pfc}^* \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos J & -\sin J \\ \cos(J - 2p/3) & -\sin(J - 2p/3) \\ \cos(J - 4p/3) & -\sin(J - 4p/3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{i}_{lhd} + \tilde{i}_{lhd} \\ \tilde{i}_{lhq} \end{bmatrix} \quad (9)$$

ولتاژهای مرجع برای فیلتر اکتیو سری دقیقاً مشابه جریان مرجع برای فیلتر موازی می باشد بدین صورت که اگر فقط اصلاح هارمونیکها نیاز باشد ولتاژهای مرجع از قسمت چپ فرمول (10) بدست می آیند اما اگر علاوه بر اصلاح هارمونیک بخواهیم ولتاژ را نیز اصلاح کنیم در آن صورت ولتاژهای مرجع از قسمت راست فرمول (10) بدست می آیند.

$$\begin{bmatrix} u_{sfa}^* \\ u_{sfb}^* \\ u_{sfc}^* \end{bmatrix} = K \sqrt{\frac{2}{3}} T^{-1} \begin{bmatrix} \tilde{i}_{shd} \\ \tilde{i}_{shq} \\ i_0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} u_{sfa}^* \\ u_{sfb}^* \\ u_{sfc}^* \end{bmatrix} = K \sqrt{\frac{2}{3}} T^{-1} \begin{bmatrix} \tilde{i}_{shd} \\ \tilde{i}_{shq} \\ i_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_{compa} \\ u_{compb} \\ u_{compc} \end{bmatrix} \quad (10)$$

که فاکتور جبران سازی ولتاژ عبارت است از:

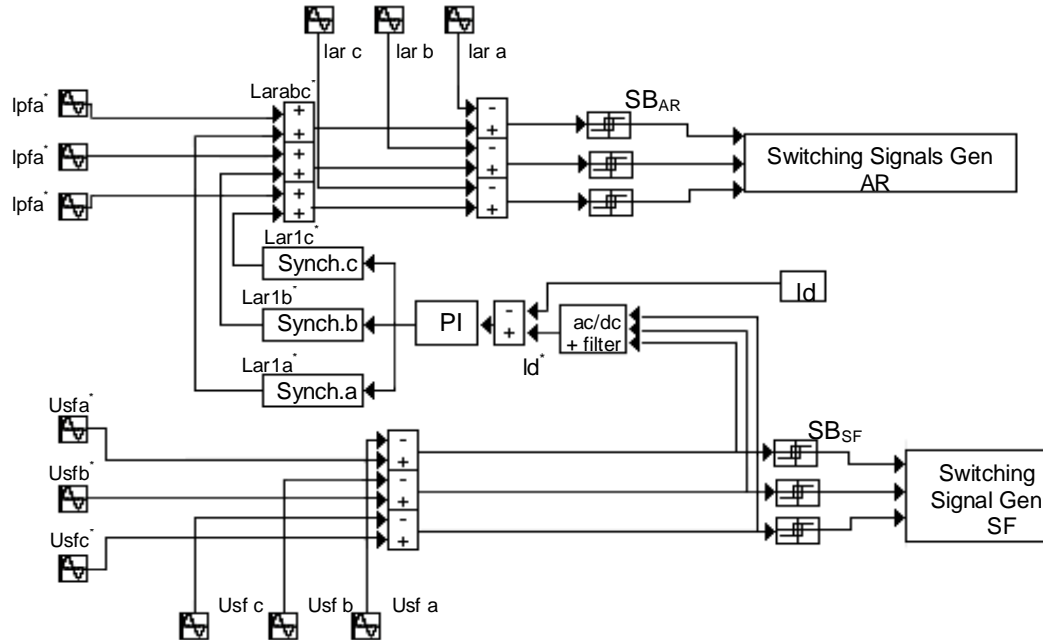
$$\begin{bmatrix} u_{compa} \\ u_{compb} \\ u_{compc} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} T^{-1} \begin{bmatrix} u_{compd} \\ u_{compq} \\ u_{comp0} \end{bmatrix} \quad \text{که} \quad \begin{bmatrix} u_{compd}(s) \\ u_{compq}(s) \\ u_{comp0}(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_{dnom}(s) - u_d(s) \\ u_{qnom}(s) - u_q(s) \\ u_{0nom}(s) - u_0(s) \end{bmatrix} \quad (11)$$

مقدار نامی مولفه های d , q و ولتاژ صفر از شکل موج منبع ولتاژ ایده ال محاسبه شده اند که برابر است با :  
 $U_{dnom} = 0$  ,  $U_{qnom} = 0$  ,  $U_{0nom} = 380$

#### 4 - کنترل مبدل های منبع جریان

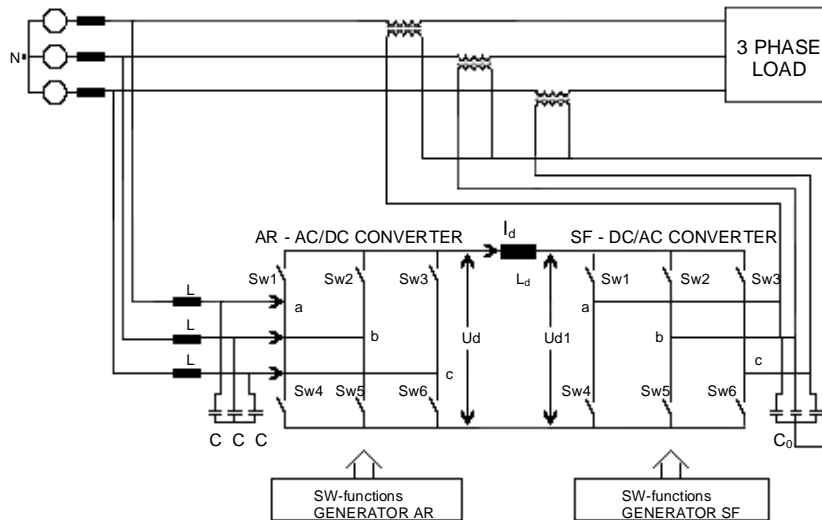
ساختار کنترل برای مبدل های منبع جریان در UPQC در شکل (2) ارائه شده است که سیگنال های ولتاژ مرجع که در مرحله قبلی محاسبه شده اند با ولتاژ های خروجی حقیقی مقایسه می شوند و اختلافشان (خطای ولتاژ) به مقایسه کنند های هیستریزس اعمال می شود که باعث تشکیل سیگنال های سویچینگ می شود (SB<sub>SF</sub>) .

خطای ولتاژ فیلتر شده و یکسو شده سیگنال مرجع Id را تشکیل می دهد. جریان باس DC توسط یک کنترلر PI ساده کنترل میگردد که باعث تشکیل اولین مولفه ی جریان مرجع می شود و همچنین خروجی آن توسط ولتاژ های فاز تغذیه سنکرون می گردد (2). این مولفه ها به مرجع های فیلترینگ اکتیو اضافه شده اند (فرمول 9) ، که باعث شکل گیری جریان مرجع فاز نهایی AR میشود. این منابع با جریان های واقعی در ورودی مبدل ها مقایسه شده و اختلافشان به کنترلر هیستریزس که خروجی آن سیگنال های سویچینگ SB<sub>AR</sub> دو سطحی باشد را تزریق می گردد.



شکل - 2: ساختار کنترل UPQC

طبق نظریات قبلی کنترلر هیستریزس برای پایه های A , B , C مبدل، سیگنال های سویچینگ دو سطحی تولید میکند که برای کنترل مبدل ضروری است. شکل گیری نهایی سیگنال های سویچینگ ترانزیستور به قرار زیر



شکل 3: ساختار مبدل با مولد های سویچینگ

است [3]: از سیگنال دو سطحی یک سیگنال سویچینگ  $(SB_i, i=A,B,C)$ ، سه سطحی که برای عملکرد صحیح مبدل ضرورت دارد بدست می آید:

$$ST_A = SB_A - SB_B ; \quad ST_B = SB_B - SB_C ; \quad ST_C = SB_C - SB_A \quad (12)$$

عملکردهای سیگنال سویچینگ دو سطحی ترانزیستور به قرار زیر است:

$$ST1 = \begin{cases} 1 & ST_A > 0 \\ 0 & ST_A \leq 0 \end{cases} \quad ST2 = \begin{cases} 1 & ST_B < 0 \\ 0 & ST_B \geq 0 \end{cases} \quad ST3 = \begin{cases} 1 & ST_C < 0 \\ 0 & ST_C \geq 0 \end{cases} \quad (13)$$

$$ST4 = \begin{cases} 1 & ST_A < 0 \\ 0 & ST_A \geq 0 \end{cases} \quad ST5 = \begin{cases} 1 & ST_B < 0 \\ 0 & ST_B \geq 0 \end{cases} \quad ST6 = \begin{cases} 1 & ST_C < 0 \\ 0 & ST_C \geq 0 \end{cases}$$

برای بارهای القایی این ضرورت وجود دارد که از وجود مسیر جریان DC مطمئن شویم. این عمل به دو صورت میتواند انجام گیرد. اگر عمل معکوس کنندگی نیاز باشد می توان از دیود چرخش ازاد استفاده کرد در این صورت سیگنالهای سویچینگ ترانزیستوری دو سطحی مشابه سیگنالهای فرمان نهایی سویچینگهای مبدل  $SW_i = ST_i, i = 1, \dots, 6$  عمل می کنند این عمل همچنین باعث شدن تلفات هدایتی در سویچینگهای توان اکتیو می شود. اگر عمل معکوس کنندگی نیاز باشد مسیر جریانهای متناوب برای جریان DC باید در مبدل فراهم شود. زمانی که فقط دو کلید در یک زمان عمل هدایت را بر عهده دارند (یکی در بالاترین و دیگری در پایین ترین قسمت پل) سیگنالهای فرمان را می توان از عملیات سویچینگ دو سطحی  $(ST_i, i=1, \dots, 6)$  بدست آورد به صورت زیر:

$$\begin{aligned} SW1 &= ST1 \vee (\overline{ST1} \wedge \overline{ST2} \wedge \overline{ST3} \wedge \overline{ST4}) & SW4 &= ST4 \vee (\overline{ST4} \wedge \overline{ST5} \wedge \overline{ST6} \wedge \overline{ST1}) \\ SW2 &= ST2 \vee (\overline{ST1} \wedge \overline{ST2} \wedge \overline{ST3} \wedge \overline{ST5}) & SW5 &= ST5 \vee (\overline{ST4} \wedge \overline{ST5} \wedge \overline{ST6} \wedge \overline{ST2}) \\ SW3 &= ST3 \vee (\overline{ST1} \wedge \overline{ST2} \wedge \overline{ST3} \wedge \overline{ST6}) & SW6 &= ST6 \vee (\overline{ST4} \wedge \overline{ST5} \wedge \overline{ST6} \wedge \overline{ST3}) \end{aligned} \quad (14)$$

این بدان معنی است که کلید  $SW_i$  باید هم در حالتی که عملکرد سه سطحی آن فعال است و یا هنگامی که ترانزیستور مکمل عمل هدایت را انجام می دهد، باید بسته شود اما هیچ کدام از کلیدها در همان قسمت پل (بالایی و پایینی) در وضعیت سه سطحی فعال نیستند.

با توجه به [4] شرایط پایداری برای کنترل جریان خطی مبدل AC / DC نیاز به تولید یک مقاومت دمپینگ با مقدار معین در فیلتر AC میباشد. در این مقاله کنترلر جریان هیستریزس برای بهبود کیفیت کل سیستم انتخاب شده است. برای این منظور باید ماکزیمم فرکانس سویچینگ را بدست آوریم  $(f_{sw})$ . زمانی که مبدل منبع جریان از منبع ولتاژ

فیلتر شده LC تغذیه می شود. این حالت یک ارتباط بین اجزا فیلتر (L,C) و باند هیستریزس ( $H_{AR}$ ) و فرکانس سویچینگ برقرار می کند.

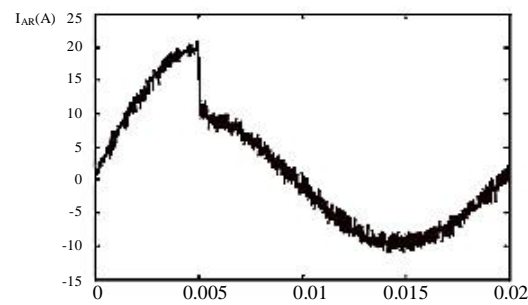
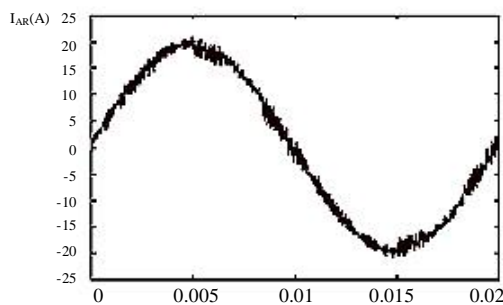
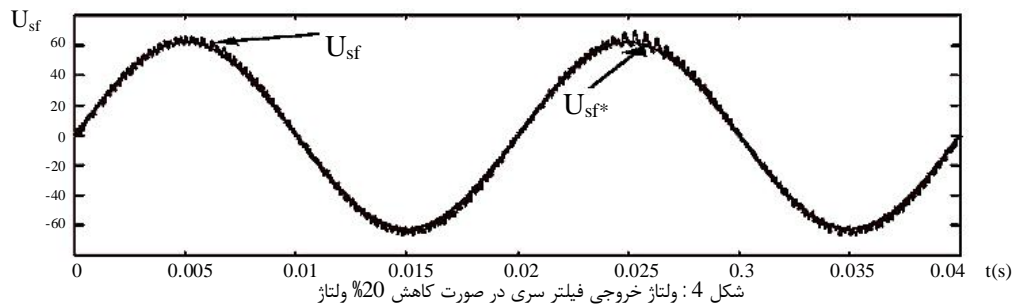
$$H_{AR} = \frac{U_{ac}}{4Lf_{swAR}} - \frac{H_{AR}}{24LCf_{swAR}} + \frac{I_d}{16LCf_{swAR}} \quad (15)$$

این وابستگی می تواند در شرایط بینهایت به فرکانسهای سویچینگ بالا ارتباط داده شود. برای جلوگیری از وجود آمدن فرکانسهای سویچینگ بسیار بالا از کنترلر هیستریزس زمانبندی<sup>1</sup> شده استفاده می شود که کار آن محدود کردن فرکانس سویچینگ به  $f_{sw} = 20\text{kHz}$  می باشد. در مورد بارهای خازنی ماکزیمم فرکانس سویچینگ در مبدل های منبع جریان DC / AC به آسانی بدست می آید.

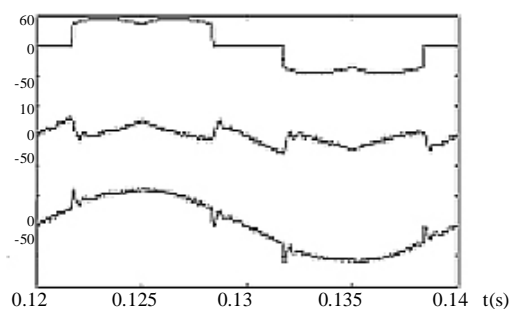
$$f_{swSF} = \frac{I_d}{4H_{SF}C_0} \quad (16)$$

## 5 - نتایج شبیه سازی

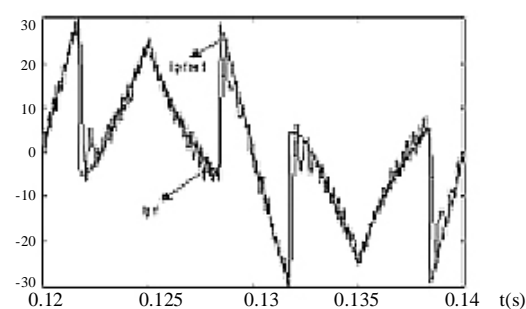
با نرم افزار MATLAB، سیستم کامل (مبدلها، مدارات کنترل، منبع و بار) شبیه سازی شده است. UPQC و سیستم کنترلی آن در بارهای مختلف معیوب تست شده اند. شکل 4 ولتاژ خروجی فیلتر سری را با افت ولتاژ 20% نشان می دهد. مشاهده می شود که ولتاژ فاز SF کاملاً دنباله رویه ولتاژ منبع است. شکل 5 و 6 رفتار AR را نشان می دهند که بیانگر هم فاز بودن جریانهای ورودی سینوسی با ولتاژ منبع است (با توانایی ردیابی سریع منبع). تغییر در جریان بصورت سریع اعمال می شود بدون اینکه نوساناتی برای کنترل PWM مبدل های نوع منبع جریان اکتیو ایجاد کند. عملکرد AR به عنوان فیلتر موازی، جبران سازی در هنگام راه اندازی موتور 30 kw DC، است که در شکل 7، 8 نشان داده شده است، شکل 9، 10 عملکرد UPQC را در صورتی که ولتاژ تغذیه آلوده به هارمونیک های پنجمین و هفتمین که به ترتیب 7% و 10% است را نشان می دهد. ولتاژ خروجی SF و جریان DC برای همان مورد در شکل 11 و 12 نشان داده شده است.



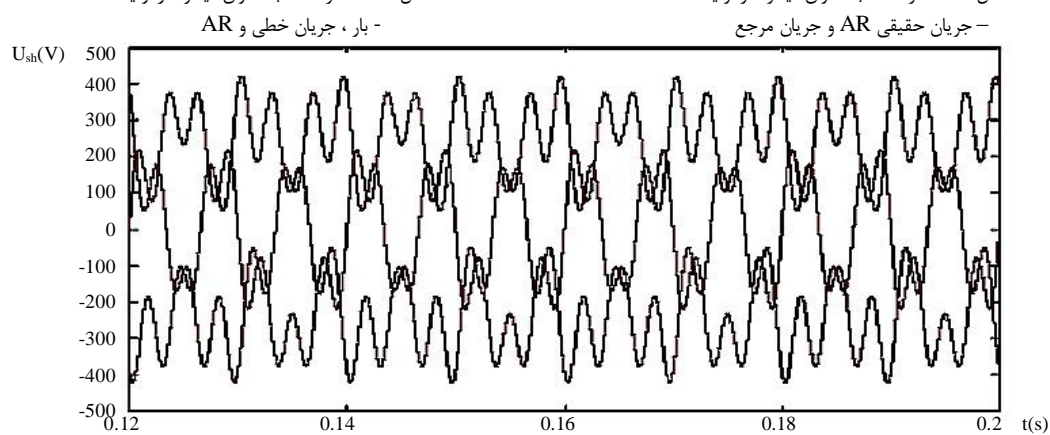
<sup>1</sup>clocked hysteresis controller



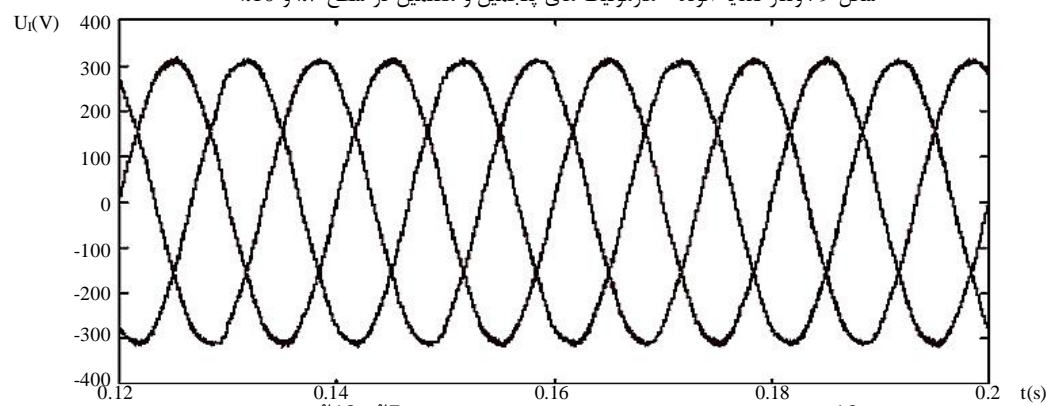
شکل 7: عملکرد AR به عنوان فیلتر هارمونیک



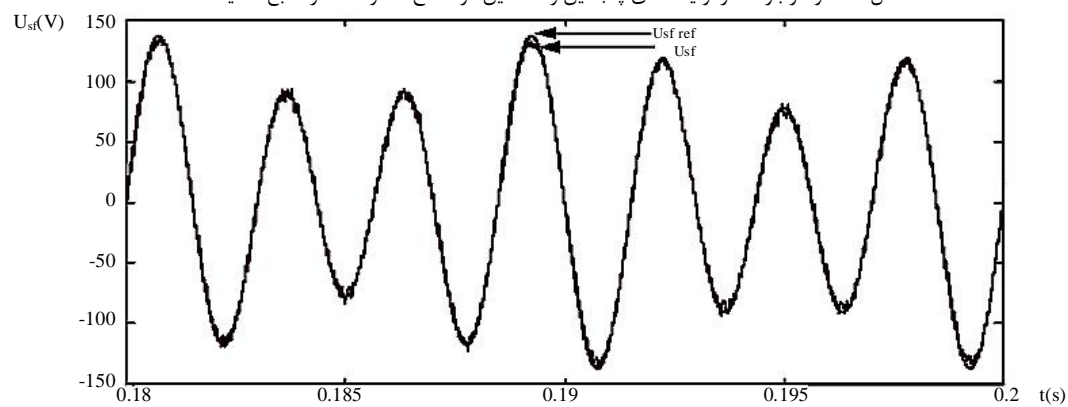
شکل 8: عملکرد AR به عنوان فیلتر هارمونیک



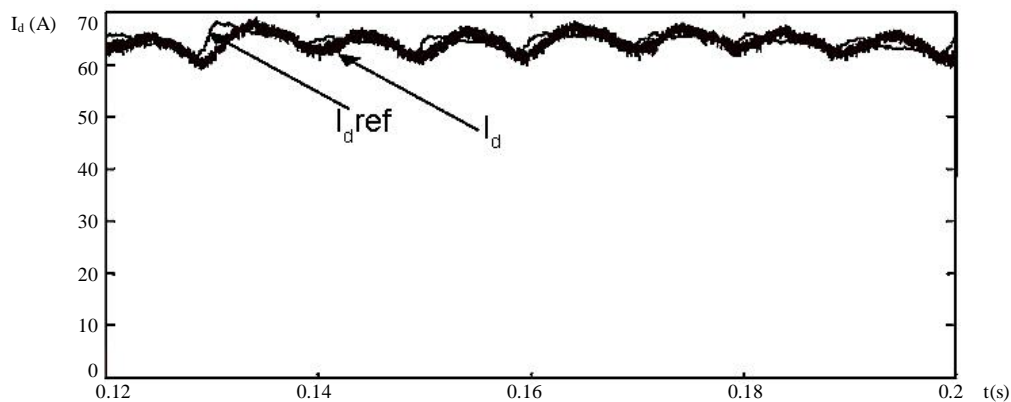
شکل 9: ولتاژ تغذیه آلوده - هارمونیک های پنجمین و هفتمین در سطح 7% و 10%



شکل 10: ولتاژ بار - هارمونیک های پنجمین و هفتمین در سطح 7% و 10% از منبع تغذیه

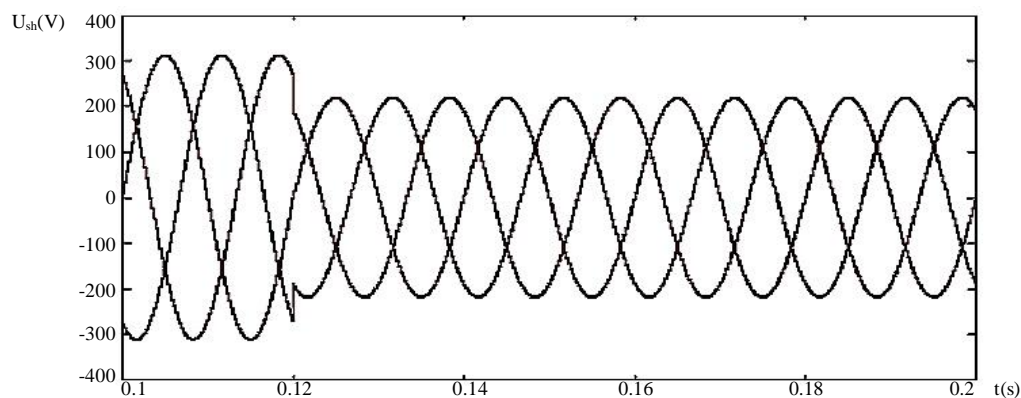


شکل 11: ولتاژ SF - هارمونیک های پنجمین و هفتمین در سطح 7% و 10% از منبع تغذیه

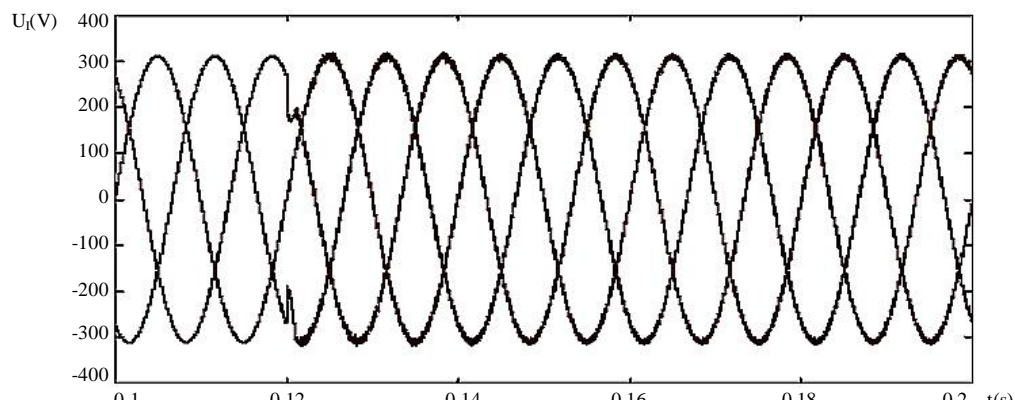


شکل 12: جریان باس DC - هارمونیک های پنجمین و هفتمین در سطح 7% و 10% از منبع تغذیه

خطای ردیابی ظاهر شده در جریان باس DC از دلایل پایداری است اما تاثیری در عمل ولتاژ خروجی SF نمی گذارد. نوسانات جریان DC در حول مقدار متوسط توسط ولتاژهای غیر سینوسی ناشی می شود. شکل موج جریان DC بوجود آمده هنگامی که AR برای فاکتور توان بار، جبران سازی می کند، اما در اساس موارد قبلی، تاثیری بر اجرای سیستم ندارد. شکل 13 و 15 پاسخ حالت گذرای UPQC درافت ولتاژ، به میزان 30% در منبع تغذیه را نشان می دهد.

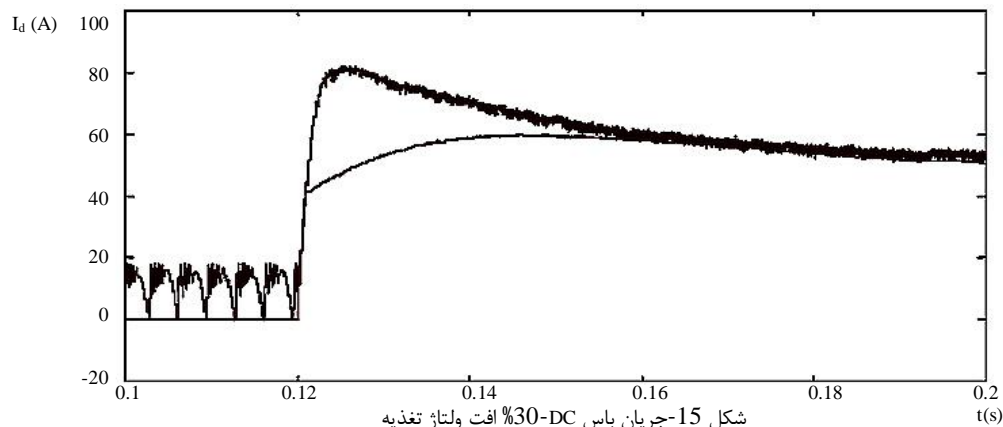


شکل 13: ولتاژ تغذیه 30% افت ولتاژ



شکل 14: ولتاژ بار 30% افت ولتاژ تغذیه





## 6- نتیجه

در این مقاله یک UPQC که توپولوژی آن بر اساس مبدل منبع جریان می باشد ارائه شده است. UPQC شامل دو مبدل منبع جریان سه فاز، که یکی برای یکسوسازی منبع جریان و دیگری اینورتر منبع جریان است. ساختار کنترل همراه با تولید کننده سیگنالهای فرمان مبدل ارائه شده است. مزایای این سیستم:

- کنترل سریع فاز ولتاژ نسبت به نوع منبع ولتاژی خود.
- ما بین مبدل و بار هیچ فیلتر پسیو وجود ندارد.
- قابلیت حفاظتی اتصال کوتاه درونی به مانند همه مبدل های منبع جریان.

## 7 - مراجع

- [1] H. Akagi, Y. Kanazawa, A. Nabae, *Instantaneous Reactive Power Compensators Comprising Switching Devices without Energy Storage Components*, IEEE Trans. on Industry Applications, VOL. IA 20, no.3, May/June 1984, pp.625-630
- [2] D. Graovac, V. Katic, A. Rufer, *Power quality compensation using universal power quality conditioning system*, IEEE Power Engineering Review, Volume: 20, Issue: 12, December 2000, pp. 58-60
- [3] Dušan Graovac, Vladimir Katić, *On-Line Control of Current Source Type Active Rectifier using Transfer Function Approach*, IEEE Trans. on Industrial Electronics, Volume 48, Number 3, June 2001
- [4] R. Zargari, G. Joos, "A Current-Controlled Current Source Type Unity Power Factor PWM Rectifier", *IEEE - IAS Annual Meeting*, Toronto (Canada), Oct. 1993, pp.793-799
- [5] ر. نوروزیان، م. عابدی، گ. قره پتیان، س.ح. فتحی، بهسازی همزمان کیفیت توان در سمت بار و منبع در شبکه های توزیع توسط UPQC، با الگوریتم کنترلی بهبود یافته. مجموعه مقالات هفدهمین کنفرانس بین المللی برق، 98-F-PQA-290
- [6] ر. نوروزیان، م. عابدی، گ. قره پتیان، س.ح. فتحی، ارائه روش کنترلی مناسب برای UPQC به منظور بهسازی جامع اغتشاشات مختل در کیفیت توان، مجموعه مقالات هیجدهمین کنفرانس بین المللی برق، 98-F-PQA-182
- [7] ح.مختاری، م.رحیمی، طراحی یک کنترل کننده ی ولتاژ جدید برای فیلتر موازی و بهینه سازی خازن لینک DC، مجموعه مقالات هیجدهمین کنفرانس بین المللی برق، 98-F-PQA-434